

高減衰ゴムを用いた靱性型高倍率パッシブ制振機構の開発 —ダンパーと滑り接合部の加力実験—

新原 剛¹・古田 智基²

¹第一工業大学 建築デザイン学科卒業 (現 鎌田建設株式会社)

²第一工業大学 指導教授 建築デザイン学科
(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail : t-furuta@daiichi-koudai.ac.jp

Development of Passive Response Control System with High Stiffness and Ductility for Wooden houses

Tsuyoshi NIIHARA¹, Tomoki FURUTA²

木造住宅用の様々な制振デバイスが開発され、実用化されているが、壁倍率を取得しているものは少なく、壁量計算では算入されていないことが多い。それゆえ、エンドユーザーにとっては、その効果が分かりにくいものとなっている。

本研究では、高減衰ゴムを用いて、高い剛性とエネルギー吸収性能を有するパッシブダンパーを開発し、その性能評価を行う。なお、このダンパーは、エンドユーザーにもその性能を把握しやすいよう、壁倍率を取得することを目標としており、滑り機構を併用することで、システム全体でバイリニアに近い復元力特性を実現する。

Key Words : 高減衰ゴム, 制振, 滑り接合部, 在来軸組工法, 等価粘性減衰定数

1. 研究の背景及び目的

これまで、本研究室では木造住宅を対象とした高減衰ゴムを用いた制振デバイスの研究開発を展開しており、デバイスを適応した住宅の巨大地震時の最大層間変形角(変位)を半分以下に低減させる効果が確認されている。しかし、高減衰ゴムのせん断応力は、せん断ひずみの増加に対して増加し続ける特性があるため、これを用いた軸組の壁倍率評価は低くなり、本来の制振効果が反映されていない状況にある。

しかし、制振構造を普及させる場合、木造住宅の構造計算で最も普及している壁倍率計算は無視できないため、現行の壁倍率で評価できる制振機構を検討する。すなわち、本研究では壁倍率 7.0 を目標値として、高減衰ゴムを適用した制振デバイスの塑性設計を試みる。

2. 壁倍率 7.0 を確保するための目標スペックの設定

耐力壁の耐力を向上させるに連れて軸組に対する引き抜き力が生じ、軸組の柱脚やデバイスと軸組との接合部が破壊する。デバイス自体が座屈する。建物全体が偏心しやすくなる。な

ど想定外の破壊が起こる可能性がある。そのため、これまでの研究により壁倍率 7.0 を限界と考え、目標値を 7.0 とした。

目標壁倍率 7.0 を確保するための軸組の荷重-変位関係を、図 1 の破線で示す。一点鎖線は、これまでの研究で確認された荷重-変位関係である¹⁾。この初期剛性を約 3 倍に、変形性能を 2 倍にすることで壁倍率 7.0 の確保が可能となる。そこで、図 2 と図 3 に示す高減衰ゴムと摩擦材の特性により、図 1 の実線で示した目標バイリニアを目標スペックとした。

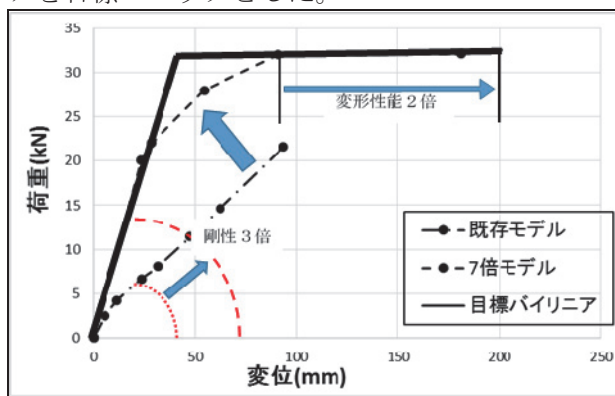


図 1 軸組の荷重-変位関係

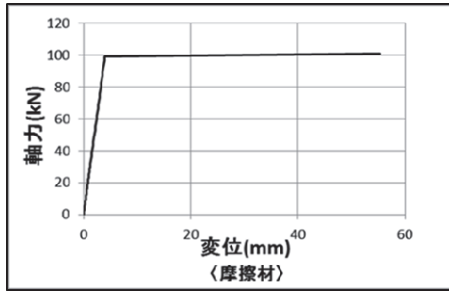


図2 高減衰ゴムの荷重-変位関係

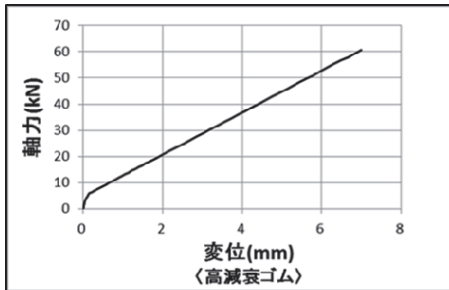


図3 摩擦材の荷重-変位関係

3. ダンパーおよびシステムの概要

ダンパーは、図4のように、大小2つの鋼管を入れ子にし、その間のスペースに高減衰ゴムを充填したものであり、外筒と内筒の長さ方向に相対変位が生じると、高減衰ゴムにせん断ひずみが生じて、剛性および減衰力を発生する。

高減衰ゴムは、せん断ひずみが100%程度以上になるとハードニングが生じて、減衰力が低下する。さらにせん断ひずみが増加すると、ゴムの破断や、剥離が生じる。そこで、ゴムのせん断ひずみが100%付近で、滑り接合部に滑りが生じるようにシステムの設計を行う。

このダンパーは2本を1組とし、図5のようにK型に設置する。壁倍率取得を目標とする場合、高減衰ゴムのような、ひずみとともに応力が増加しつづける復元力特性では、塑性率 μ が小さく、構造特性係数 D_s が大きくなりがちであり、高減衰ゴムの剛性を生かすことができない。そこで、滑り接合部を設け、ある荷重に達すると滑りが生じて、耐力が頭打ちになるようにする。ここでは、壁倍率7として木造住宅に搭載することを目標としており、バラツキや低減係数も考慮し、図6のような復元力特性になるように各部の設計を行った。その結果、ダンパーの剛性は8.6kN/mm、滑りが生じる荷重は100kNとなった。

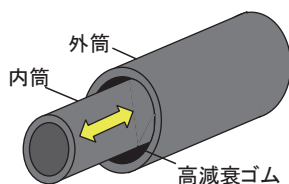


図4 ダンパーの外形

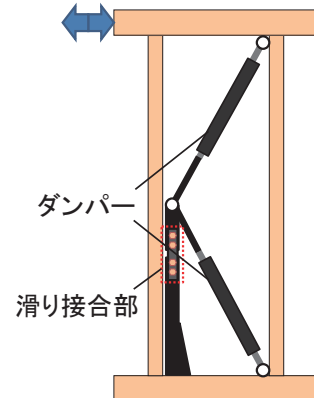


図5 ダンパーの設置方法

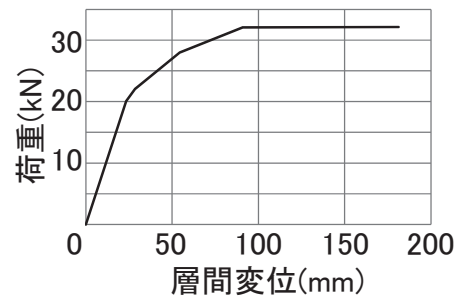


図6 目標とする復元力特性

4. 増分解析によるバイリニアモデルの検証

① 機構の解析モデル

図5の機構の解析モデルを図7に示す。高減衰ゴムの復元力特性についてはトリリニアモデルとし、摩擦材はバイリニアモデルとした。解析モデルのパラメータは、図2と図3の荷重-変位関係をもとに決定した。

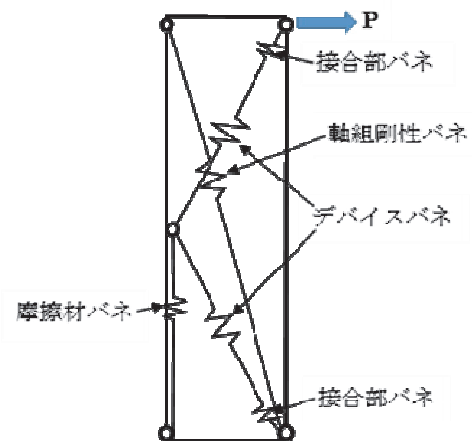


図7 解析モデル

② 増分解析

図7の解析モデルの増分解析を実施した結果、図8の実線に示すバイリニアモデルが再現できることを確認した。

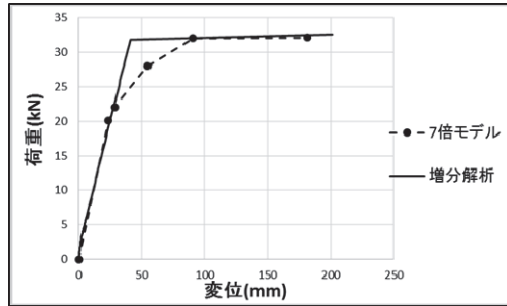


図 8 軸組の荷重－変位関係

5. ダンパーの動的加力実験

ダンパーは、表 1 のとおり、外筒と内筒の径を 2 種類とし、また、剛性を 2/3 としたのもも製作した。各試験体に使用したゴムは同じものであり、せん断剛性 $G=0.8\text{N/mm}^2$ である。加振パラメータは、表 2 に示す 7 とおりとし、各加振は正負 4 回繰り返した。写真 1 に実験の実施状況を示す。

図 9 にダンパーNo.1 の荷重－変位関係、図 10 に最大変位時の割線剛性と等価粘性減衰定数（以下 Heq と記す）を示す。いずれも、3 回目のループの値である。剛性は、目標よりやや低い値であり、 Heq は最大で 25% 程度である。比較的小さい振幅での加振においては、治具に若干のガタがあったため、 Heq は概して小さめの評価である。

表 1 製作したダンパー

No.	外筒内径 (mm)	内筒外径 (mm)	ゴム厚さ (mm)	ゴム長さ (mm)	せん断ひずみ 100%時設計耐力 (kN)	設計剛性 (kN/mm)
1	75	65	5.0	243	42.8	8.6
2	83	70	6.5	293	56.3	8.7
3	75	65	5.0	162	28.5	5.7
4	83	70	6.5	196	37.7	5.8

表 2 加振パラメータ

No.	振幅 (mm)	周波数 (Hz)	最大速度 (mm/sec)	想定変形角 (rad)
1	6	静的加力		1/67
2	1	3.0	18.8	1/400
3	2	2.0	25.1	1/200
4	4	1.5	37.7	1/100
5	6	1.0	37.7	1/67
6	9	0.67	37.9	1/50 以上
7	12	0.5	37.7	1/50 以上

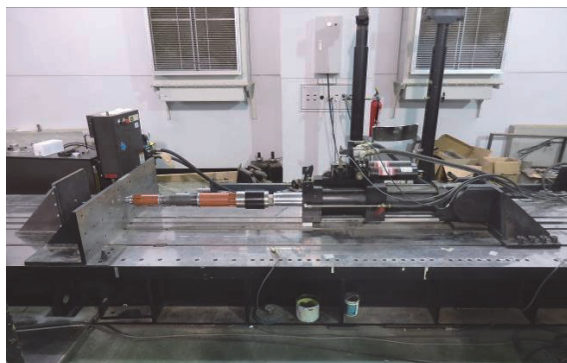


写真 1 ダンパー実験の状況

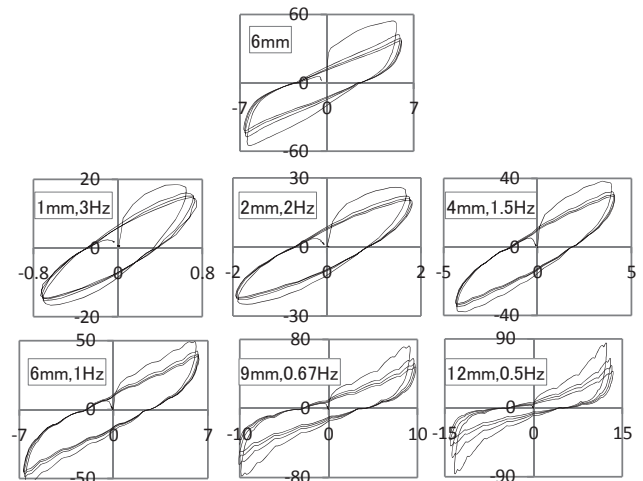


図 9 ダンパーNo.1 の荷重(kN)－変位(mm)関係

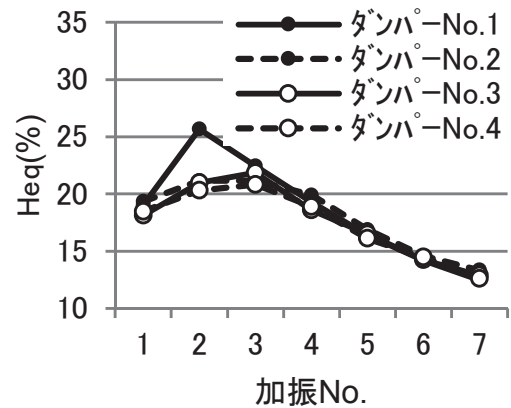
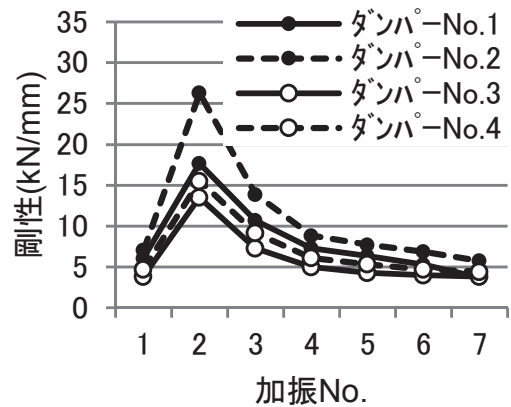


図 10 各ダンパーの剛性と等価粘性減衰定数

6. 滑り接合部の静加力実験

図 11 に滑り接合部の詳細を示す。H 形鋼のウェブの両側に摩擦材（アルミ）を挟みこみ、高力ボルトで締め付けたものである。写真 2 に実験の実施状況を示す。

各高力ボルトを $430\text{N}\cdot\text{m}$ で締め付け、静的加力を行った結果を図 12 に示す。概ね、目標とする 100kN で滑りが生じたが、変位の増減とともに、荷重の変動が生じた。これは、H 形鋼のウェブの表面処理や厚さの精度の影響と考えられ、今後、改良が必要であると考えている。

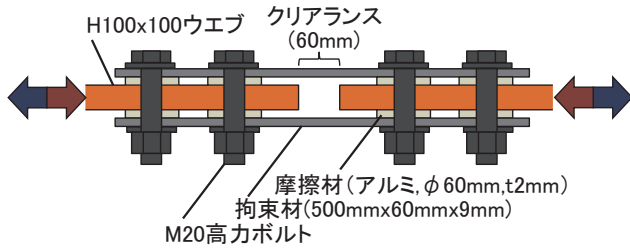


図 11 滑り接合部

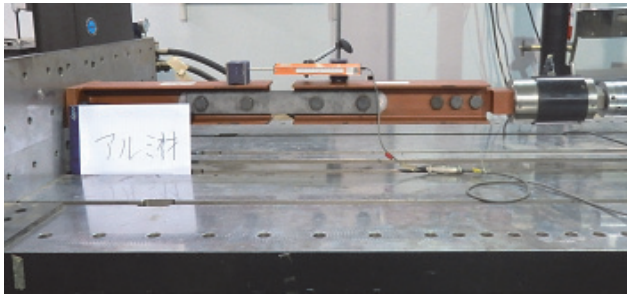


写真 2 滑り接合部実験の状況

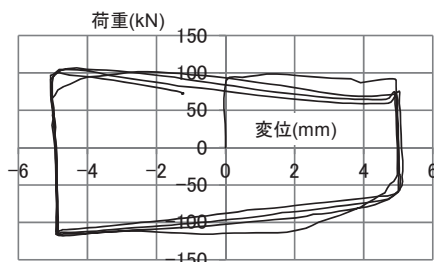


図 12 滑り接合部実験の結果

7. 増分解析による壁倍率の推定

今回の実験で得られたダンパーと滑り接合部の実験結果をモデル化して図 13 のようなフレームモデルを作成し、増分解析を実施した。ダンパーの復元力特性モデルを図 14 に示す。滑り接合部は、100kN で降伏する完全弾塑性型の復元力特性とした。

図 15 は、増分解析で得られた荷重-層間変位関係である。この荷重-層間変位関係を評価すると、壁倍率は 9.96 であり、バラツキ係数を 0.95、低減係数 α を 0.85 とした場合は 8.0 となった。従って、各要素の性能は、目標に達していると考えられる。

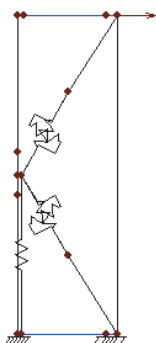


図 13 フレームモデル

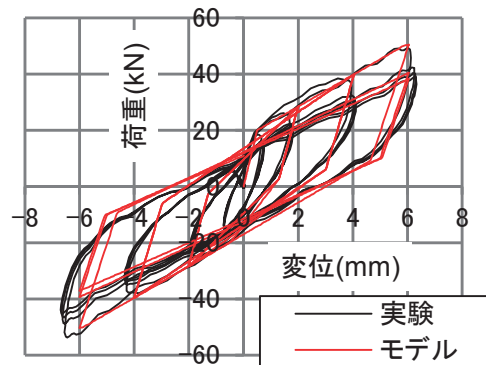


図 14 ダンパーの復元力特性モデル

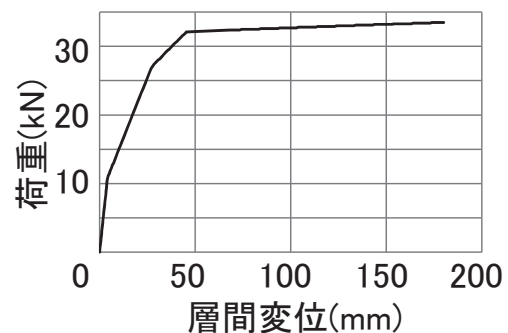


図 15 増分解析結果

8. まとめ

本研究で以下の知見を得た。

- 1) 目標壁倍率 7.0 を確保するためのバイリニアモデルの設定を行った。
- 2) デバイスの初期剛性を 3 倍、変形性能を 2 倍にすることで壁倍率 7.0 の確保が可能であることを確認した。
- 3) K 型を基本として、高減衰ゴムと摩擦材を適用した新たな制振機構を提案した。
- 4) 提案した制振機構をモデル化し、増分解析を実施した結果、目標バイリニアモデルが再現できることを確認した。
- 5) 高減衰ゴムダンパーに滑り接合部を併用したパッシブ制振機構のダンパーと滑り接合部の実験を行い、各要素は、目標の性能に達していることを確認した。

今後、このシステムと軸組との接合部仕様を検討し、軸組に搭載した状態での実験を行う。実験の結果、摩擦材を用いたデバイスの治具を再検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 古田智基、中尾方人：高減衰ゴムデバイスを筋かい部材として用いた木造住宅の地震応答性状の評価、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 分冊、pp.429-430, 2014.9